



①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

①② **Offenlegungsschrift**  
①⑩ **DE 43 35 367 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**B 23 K 26/08**  
B 25 J 15/00  
G 02 B 6/26

②① Aktenzeichen: P 43 35 367.3  
②② Anmeldetag: 16. 10. 93  
④③ Offenlegungstag: 21. 4. 94

DE 43 35 367 A 1

③⑩ Innere Priorität: ③② ③③ ③①  
20.10.92 DE 92 14 118.8

⑦① Anmelder:  
Thyssen Laser-Technik GmbH, 52074 Aachen, DE;  
Reis GmbH & Co. Maschinenfabrik, 63785  
Obernburg, DE

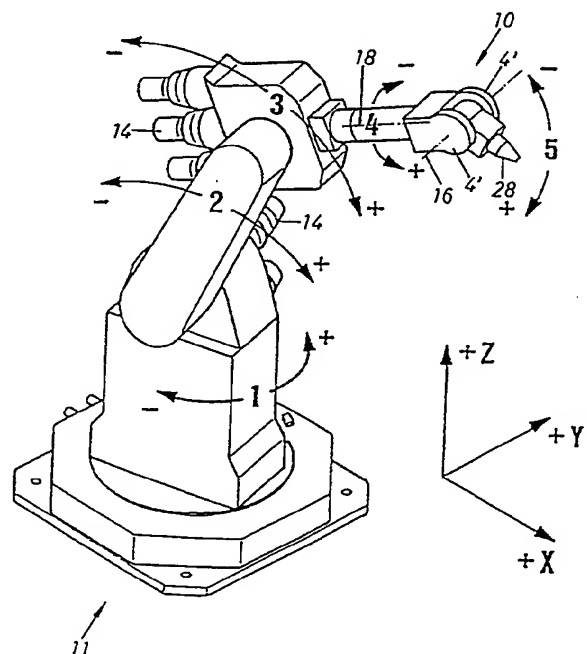
⑦④ Vertreter:  
Sturies, H., Dipl.-Phys. Dr.-Ing.; Eichler, P., Dipl.-Ing.,  
Pat.-Anwälte, 42289 Wuppertal

⑦② Erfinder:  
Fischer, Axel, Dipl.-Ing., 63785 Obernburg, DE;  
Seiler, Stefan, Dipl.-Ing., 63785 Obernburg, DE;  
Kroth, Eberhard, Dr.-Ing., 63785 Obernburg, DE;  
Zimmermann, Klaus, Dipl.-Ing., 52072 Aachen, DE;  
Klein, Rolf, Dr.-Ing., 52074 Aachen, DE; Neumann,  
Günter, 52072 Aachen, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Roboterhand für die 3-D-Bearbeitung von Werkstücken

⑤⑦ Roboterhand (10) für die 3-D-Bearbeitung von Werkstücken mit Laserstrahlung, insbesondere für Roboter (11) mit mindestens fünf Achsen (1 bis 5), mit einem Anschluß (12) für ein die Laserstrahlung (9) zuführendes Lichtleitkabel (13), mit einer roboterseitigen Handachse (4), an der eine werkstückseitige Handachse (5) schwenkbeweglich angebracht ist, welche eine die Laserstrahlung (9) auf das Werkstück fokussierende Bearbeitungsoptik (15) hat.  
Um eine solche Roboterhand (10) so zu verbessern, daß eine verbesserte Zugänglichkeit zum Werkstück in Verbindung mit einer höheren Betriebssicherheit insbesondere in Verbindung mit der Laserstrahlungszuführung über ein Lichtleitkabel (13) erreicht wird, wird die Roboterhand (10) so ausgestaltet, daß der Anschluß (12) für das Lichtleitkabel (13) an der roboterseitigen Handachse (4) angebracht ist und die Laserstrahlung (9) koaxial mit der Schwenkachse (16) der werkstückseitigen Handachse (5) einkoppelt, die einen die Laserstrahlung (9) aus der Schwenkachse (16) zur Bearbeitungsoptik (15) umlenkenden Spiegel (17) aufweist.



DE 43 35 367 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 02. 94 408 016/569

9/42

Die Erfindung bezieht sich auf eine Roboterhand für die 3-D-Bearbeitung von Werkstücken mit Laserstrahlung, insbesondere für Roboter mit mindestens fünf Achsen, mit einem Anschluß für ein die Laserstrahlung zuführendes Lichtleitkabel, mit einer roboterseitigen Handachse, an der eine werkstückseitige Handachse schwenkbeweglich angebracht ist, welche eine die Laserstrahlung auf das Werkstück fokussierende Bearbeitungsoptik hat.

Bei der Werkstückbearbeitung mit Laserstrahlung werden für räumliche Werkstückgeometrien bzw. für eine 3-D-Bearbeitung zunehmend Industrieroboter eingesetzt, die mit einer flexiblen Strahlführung arbeiten. Anwendungsgebiete für solche Roboter sind u. a. das Schneiden und das Schweißen an Automobilkomponenten im Karosseriebereich.

Bei Knickarmrobotern, die mit CO<sub>2</sub>-Lasern arbeiten, dienen Spiegelsysteme der Strahlführung innerhalb der Roboterachsen. Bei einer solchen integrierten Strahlführung ist der innerhalb der Roboterachsen erforderliche Platzbedarf ein Grund für größeren baulichen Aufwand. Es ergeben sich dadurch auch Beeinträchtigungen der Dynamik dieser Knickarmroboter.

Aus der DE-Z: LASER, Juni 1991, S. 126, 129 ist ein Knickarmroboter mit einem Nd:YAG-Laser bekannt, bei dem die Laserstrahlung nicht über eine Vielzahl von in den Achsen fest installierten Spiegeln erfolgt, sondern über ein flexibles Lichtleitkabel. Dieser bekannte Roboter hat eine Roboterhand mit den eingangs genannten Merkmalen. Der Anschluß für das die Laserstrahlung zuführende Lichtleitkabel ist an der werkstückseitigen Handachse dieser Roboterhand angebracht. Die Anbringung erfolgt im wesentlichen quer zum Knickarm des Roboters. Durch diese externe Anflanschung wird der Bewegungsraum des Roboters zum Teil erheblich eingeschränkt. Das Bauvolumen der externe Anflanschung des Lichtleitkabels verschlechtert die Zugänglichkeit der Bearbeitungszone am Werkstück. Aus Zeitgründen soll die werkstückseitige Hand mit hoher Dynamik bewegt werden, so daß entsprechend große Beschleunigungskräfte auftreten. Hiergegen ist das Lichtleitkabel vergleichsweise empfindlich, so daß aus den erheblichen Beschleunigungskräften der werkstückseitigen Handachse Beschädigungen des Lichtleitkabels und der Bearbeitungsoptik herrühren können.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Roboterhand mit den eingangs genannten Merkmalen so zu verbessern, daß eine verbesserte Zugänglichkeit zum Werkstück in Verbindung mit einer höheren Betriebssicherheit insbesondere in Verbindung mit der Laserstrahlungszuführung über ein Lichtleitkabel erreicht wird.

Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, daß der Anschluß für das Lichtleitkabel an der roboterseitigen Handachse angebracht ist und die Laserstrahlung koaxial mit der Schwenkachse der werkstückseitigen Handachse einkoppelt, die einen die Laserstrahlung aus der Schwenkachse zur Bearbeitungsoptik umlenkenden Spiegel aufweist.

Für die Erfindung ist zunächst von Bedeutung, daß das Lichtleitkabel nicht an der hochdynamischen werkstückseitigen Handachse angebracht wird, sondern an der roboterseitigen Handachse, so daß die werkstückseitige Handachse ohne Rücksichtnahme auf den Anschluß für das Lichtleitkabel ausgebildet werden kann, und zwar insbesondere hinsichtlich hoher dynamischer

Fähigkeiten. Des weiteren ist von Bedeutung, daß der Anschluß die Laserstrahlung koaxial mit der Schwenkachse der werkstückseitigen Handachse einkoppelt. Infolgedessen kann die Strahlführung und Einkopplung in die werkstückseitige Handachse unabhängig von den unterschiedlichen erforderlichen Stellungen der werkstückseitigen Handachse stets ungeändert bleiben. Es ist lediglich ein einziger umlenkender Spiegel erforderlich, um die Laserstrahlung aus ihrer Schwenkachse zur Bearbeitungsoptik umzulenken. Bei dieser Ausgestaltung des Anschlusses des Lichtleitkabels an die Roboterhand ist letzteres gegen Faserbruch seiner Glasfasern durch mechanische Überbeanspruchung gut geschützt und schränkt den Arbeitsbereich des Roboters nicht entscheidend ein. Andererseits werden auch die dynamischen Qualitäten des Roboters nicht beeinträchtigt. Das ist bei der werkstückseitigen Handachse offensichtlich, da diese völlig frei von Anschlußelementen ist. Lediglich diejenige roboterseitige Handachse, an die der Anschluß für das Lichtleitkabel führt, ist insoweit beeinträchtigt. Diese Beeinträchtigung hält sich jedoch in Grenzen, da die Zuführung der Laserstrahlung quer zur Längsachse dieser roboterseitigen Handachse erfolgt, so daß deren Querschnittsabmessungen nicht beeinträchtigt werden. Auch — alle weiteren etwa vorhandenen roboterseitigen Achsen bzw. Knickarmelemente werden von dem Anschluß des Lichtleitkabels praktisch nicht beeinträchtigt. Bezogen auf den gesamten Knickarm des Roboters liegt eine Teilintegration vor, die auch für die einen vergleichsweise größeren Divergenzgrad der von Festkörperlasern herrührende Strahlung praxisgerecht ausgestaltet ist. Es wäre denkbar, die Laserstrahlung in eine Handachse einzukoppeln, die der werkstückseitigen Handachse nicht direkt benachbart ist. Es verlieren sich dann jedoch zumindest zum Teil die oben beschriebenen Vorteile.

Vorteilhafterweise ist die Roboterhand so ausgestaltet, daß die Schwenkachse der werkstückseitigen Handachse vertikal zur Bewegungsachse der roboterseitigen Handachse angeordnet ist, und daß der Anschluß für das Lichtleitkabel einen im von 90° abweichenden Winkel zur Schwenkachse stehenden Umlenkspiegel hat. Durch diese Ausgestaltung der Roboterhand wird durch die Wahl des Winkels gewährleistet, daß das Lichtleitkabel nicht vertikal zur Längsachse der roboterseitigen Handachse angeordnet sein muß, sondern in einem für die Dynamik und in Bezug auf den Raumbedarf im Bearbeitungsbereich optimalen Winkel angeordnet sein kann. Sofern gewünscht wird, daß das Lichtleitkabel zumindest kurz vor seinem Anschluß an die Roboterhand möglichst parallel zur Längsachse der roboterseitigen Handachse geführt ist, wird die Roboterhand so ausgebildet, daß der Anschluß mit einem senkrecht zur Schwenkachse der werkstückseitigen Handachse angeordneten Befestigungsflansch und mit einem dazu im rechten Winkel stehenden Kabelflansch versehen ist, und daß der Umlenkspiegel unter einem Winkel von etwa 45° beiden Flanschöffnungen zugeneigt ist.

Um die Masse der werkstückseitigen Handachse möglichst gering halten zu können, was entsprechend geringe Trägheitsmomente zur Folge hat und entsprechend schnelle Bewegungen zuläßt, wird die Roboterhand so ausgestaltet, daß die roboterseitige Handachse werkstückseitig U-förmig ausgebildet ist, daß die werkstückseitige Handachse zwischen den U-Schenkeln schwenkbar gelagert ist, und daß der Anschluß für das Lichtleitkabel mit seinem Befestigungsflansch außen an einem der U-Schenkel befestigt ist. Bei dieser Ausge-

staltung weist die werkstückseitige Handachse lediglich die zu ihrer Lagerung an der roboterseitigen Handachse erforderliche Bauteile auf, sowie die für die Werkstückbearbeitung erforderliche Bearbeitungsoptik.

Um die werkstückseitige Handachse weiterhin bezüglich ihrer dynamischen Eigenschaften zu optimieren, wird sie so ausgebildet, daß die Bearbeitungsoptik in einem zylindrischen Gehäuse angeordnet ist, dessen Längsachse quer zur Schwenkachse der werkstückseitigen Handachse steht, und daß werkstückseitig eine zylindrische Abdeckkappe mit seitlichem Gasanschluß und/oder mit einer Linsenschutzscheibe und/oder mit einer quer zur Laserstrahlung justierbaren Düse versehen ist. Alle Bauteile der Bearbeitungsoptik und der dieser nachgeschalteten Teile sind in gleicher Weise symmetrisch ausgerichtet, und zwar koaxial untereinander und koaxial mit der dem Werkstück zu zuführenden Laserstrahlung. Es resultiert eine von der Schwenkachse der werkstückseitigen Handachse aus gesehen geringe Baulänge mit einem im Sinne hoher Dynamik geringen Massenaufwand.

Um die Einkopplung der Laserstrahlung durch den Anschluß für das Lichtleitkabel koaxial zur Schwenkachse der werkstückseitigen Handachse präzise ausrichten zu können, ist der Umlenkspiegel am Anschluß justierbar befestigt.

Es ist vorteilhaft, die Roboterhand so auszubilden, daß der die Laserstrahlung aus der Schwenkachse der werkstückseitigen Handachse umlenkende Spiegel ein mit der Schwenkachse koaxialer zylindrischer Körper mit dem Mittelquerschnitt eines rechtwinkligen gleichschenkligen Dreiecks ist, dessen Spiegelfläche mit einer Spiegelhalterung unter 45° geneigt zur Schwenkachse und zur Linsenmittelebene der Bearbeitungsoptik angeordnet ist. Durch diese Ausbildung wird der umlenkende Spiegel dem Einbaort optimal angepaßt. Er kann insbesondere auf einfache Weise derart lagegenau befestigt werden, daß der gewünschte Verlauf der Laserstrahlung präzise erreicht wird.

Die Roboterhand kann so ausgestaltet werden, daß der umlenkende Spiegel und/oder der Umlenkspiegel teiltransparent ist bzw. sind und die jeweilige Spiegelfläche eine Reflexionsbeschichtung für die Wellenlänge der Laserstrahlung aufweist bzw. aufweisen. Infolgedessen wird die für die Bearbeitung zu verwendende Laserstrahlung 100%ig reflektiert, während andere Strahlung dem Transparenzgrad des Spiegelwerkstoffs entsprechend reflektiert bzw. durchgelassen wird.

Durchgelassene Strahlung kann für Meß- und Steuerungszwecke ausgenutzt werden. Wenn beispielsweise die Programmierung der Bearbeitungsbahn des Roboters erleichtert werden soll, indem das sogenannte Teach-In-Verfahren angewendet wird, kann die Roboterhand so ausgebildet werden, daß am Anschluß des Lichtleitkabels eine durch den Umlenkspiegel strahlungsbeobachtende CCD-Kamera oder deren bildaufnehmender Teil angebracht ist, an die bzw. an den eine Bahnsteuerung für den Roboter angeschlossen ist. Die CCD-Kamera bzw. ihr bildaufnehmender Teil wird vorzugsweise außen am Anschluß direkt hinter dem Umlenkspiegel angebracht. Die CCD-Kamera bzw. deren bildaufnehmender Teil werden vergleichsweise massearm ausgebildet, so daß die dynamischen Eigenschaften der Roboterhand nur geringfügig beeinträchtigt werden. Von der Bearbeitungsstelle herrührende Strahlung wird von der CCD-Kamera oder deren bildaufnehmendem Teil beobachtet, und zwar direkt hinter dem Umlenkspiegel oder mit einer weiteren bildübertragenden Optik, die im

rechten Winkel zur von der Bearbeitungszone einfallenden Strahlung angebaut ist.

Die Roboterhand kann zur Faserbruchüberwachung des Lichtleitkabels herangezogen werden, wenn am Anschluß des Lichtleitkabels eine durch den Umlenkspiegel pilotstrahlbeobachtende Sensoreinheit angebracht ist, die mit einer laserabschaltenden Steuereinheit in Wirkverbindung steht. Die Sensoreinheit ist beispielsweise die vorgenannte CCD-Kamera oder deren bildaufnehmender Teil, oder es wird ersatzweise eine Fotodiode als Sensoreinheit verwendet. Registriert wird ein Pilotstrahl eines HeNe-Lasers oder eines Diodenlasers, deren im roten Bereich liegende Laserstrahlung erheblich geschwächt wird oder ganz verlöscht, falls das Lichtleitkabel bzw. deren Glasfasern teilweise oder vollständig brechen. In einem solchen Fall veranlaßt die Sensoreinheit ein Abschalten des Lasers über die mit ihr in Wirkverbindung stehende Steuereinheit.

Die Roboterhand kann vorteilhafterweise auch so ausgestaltet werden, daß in der werkstückseitigen Handachse, von der Bearbeitungsoptik aus hinter dem umlenkenden Spiegel ein Sensor zur Erfassung prozeßrelevanter Signale der Bearbeitungszone angeordnet ist, der an eine Prozeßsteuerung oder -regelung für die Laserleistung angeschlossen ist. Die teilweise Integration der Laserstrahlungsführung in die Roboterhand kann also dazu benutzt werden, den Bearbeitungsprozeß in einfacher Weise zu beobachten, ohne daß die Beobachtungsmittel im Bearbeitungsbereich stören, weil sie außerhalb der werkstückseitigen Handachse möglichst nahe an der Bearbeitungszone angeordnet werden müßten. Die Beobachtungsmittel beeinträchtigen auch nicht die Dynamik der werkstückseitigen Handachse.

Die Erfindung wird anhand eines in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 eine perspektivische Darstellung eines Knickarmroboters mit schematischer Abbildung seiner wichtigsten Teile, nämlich der Handachsen, und

Fig. 2 einen Schnitt durch eine Roboterhand gemäß der Erfindung.

Der in Fig. 1 dargestellte Roboter 11 ist so ausgestaltet, daß er in allen Richtungen der kartesischen Koordinaten x, y und z die erforderlichen Bewegungen im Rahmen der Reichweiten seiner Achsen 1 bis 5 durchführen kann. Die Achsen 1 bis 5 sind sämtlich Drehachsen, deren Drehantrieb durch die schematisch dargestellten Stellmotoren 14 bewirkt wird, welche von einer nicht dargestellten Bahnsteuerung so beaufschlagt werden, daß sie die gewünschten Achsenbewegungen veranlassen. Die hierfür erforderlichen Kraftübertragungselemente sind ebenfalls nicht dargestellt. Der Roboter 11 soll für die 3-D-Bearbeitung von Werkstücken mit Laserstrahlung eingesetzt werden, wozu er eine spezielle Roboterhand 10 hat, die im wesentlichen aus einer roboterseitigen Handachse 4 und einer werkstückseitigen Handachse 5 besteht. Die roboterseitige Handachse 4 hat eine Bewegungsachse 18 und die werkstückseitige Handachse 5 hat eine Schwenkachse 16, die senkrecht zur Bewegungsachse 18 angeordnet ist. Das werkstückseitige Ende der Handachse 4 ist U-förmig ausgebildet und zwischen den U-Schenkeln 4' lagert schwenkbar die Handachse 5. Die Darstellung der Handachse 5 ist schematisch und stimmt in Einzelheiten nicht mit den Darstellungen der Fig. 2 überein, die aufgrund eines vergrößerten Maßstabes eine genauere Darstellung erlauben.

Fig. 2 zeigt, daß die roboterseitige Handachse 4 eine hohle Struktur hat, an deren werkstückseitigem Ende

U-Schenkel 4' vorhanden sind, die der Lagerung des Achsenkörpers 29 der Handachse 5 dienen. Der Achsenkörper 29 ist um seine Schwenkachse 16 schwenkbar, wozu ein nicht näher beschriebener Schwenkantrieb 30 vorhanden ist, der innerhalb der Abdeckkappe 31 einen Riemenantrieb aufweist, welcher mit einem im Hohlraum 32 des Endes der Handachse 4 untergebrachten Kegelradgetriebe angetrieben wird, das seinerseits in geeigneter Weise durch die Bohrung 33 hindurch von einem Stellmotor beaufschlagt wird.

Die drehbare Lagerung des Achsenkörpers 29 erfolgt reibungsarm mit Wälzlager 34, die in der Darstellungsebene der Fig. 2 beidseitig des Achsenkörpers 29 vorhanden sind. Der Achsenkörper 29 weist hierzu je Wälzlager einen ringförmigen Lagerflansch 35 auf, der mit dem nicht dargestellten Innenring des Wälzlagers 34 verbunden ist. Der ebenfalls nicht dargestellte Außenring des Wälzlagers 34 ist in einer Halterung 36 des U-Schenkels 4' befestigt, die eine dem Wälzlager 34 koaxiale Ringabdichtung 37 aufweist, welche an Ringflächen des Achsenkörpers 29 dichtend anliegen, der im übrigen Spiel zur Halterung 36 hat.

Mit dem schwenkanteibbaren Achsenkörper 29 der werkstückseitigen Handachse 5 ist laserstrahlungsausgangsseitig ein Ausgangsflansch 8 verbunden, der eine Bearbeitungsoptik 15 trägt. Die Bearbeitungsoptik 15 besteht im wesentlichen aus einem zylindrischen Gehäuse 23, in dem eine Fokussierlinse 38 untergebracht ist, deren Linsenmittelebene 24 exakt senkrecht zur Gehäuselängsachse 23 ausgerichtet ist. Die Austrittsöffnung 23'' des Gehäuses 23 ist von einer Abdeckkappe 25 verschlossen, in der sich eine Linsenschutzscheibe 27 befindet, welche die Bearbeitungslinse 38 vor Schneid- oder Schweißdämpfen schützt, die aus der Bearbeitungszone herrühren. Werkstückseitig der planparallelen Linsenschutzscheibe 27 hat die Abdeckkappe 25 einen Gasanschluß 26, in den Schutz- und/oder Arbeitsgas mit regelbarem Gasdruck oder Gasdurchfluß zugeführt werden kann bzw. können. Dieses Gas strömt aus der Abdeckkappe 25 in eine Düse 28 und von dieser durch eine Düsenöffnung 28' in die Bearbeitungszone. Die Düse 28 ist in einen Stellring 39 eingeschraubt, an dem Stellschrauben 40 angreifen, die ihrerseits verstellbar in der Abdeckkappe 25 lagern, so daß die Düse 28 quer zur Längsachse 23' des zylindrischen Gehäuses 23 bzw. quer zur Laserstrahlung 9 verschoben werden kann, die von der Fokussierlinse 38 derart fokussiert wird, daß sie ohne Beaufschlagung der Düse 28 aus der Düsenöffnung 28 austritt und einen Brennpunkt 41 aufweist, der im Bereich des Werkstücks liegt, wenn der Roboter 11 seiner Steuerung bzw. Bahnsteuerung entsprechend dem nicht dargestellten Werkstück genähert wurde.

Die der Werkstückbearbeitung dienende Laserstrahlung 9 wird der Roboterhand 10 gemäß Fig. 2 durch ein Lichtleitkabel 13 zugeleitet, welches mit einem Anschluß 12 mechanisch verbunden ist, beispielsweise mit einer Steckverbindung 42 des dargestellten Steckers 50 für das Lichtleitkabel 13. Anstelle der Steckverbindung kann auch eine Schraubverbindung verwendet werden. Faserseitig ist eine Steckverbindung zum einfachen Faserwechsel vorgesehen. Das Lichtleitkabel 13 ist gegen mechanische Überbeanspruchung geschützt, z. B. durch eine Spiraldrahtummantelung in bekannter Bauweise. In den Stecker 50 ist eine optische Linsenanordnung integriert, mit der die Laserstrahlung in bekannter Weise zu einem parallelen Laserstrahl kollimiert wird. Die Linsenanordnung kann auch eine von der faserseitigen

Steckverbindung separate Baugruppe sein. Die Kollimierung ist an die verwendete Laserstrahlung angepaßt, beispielsweise an die Strahlung eines Nd:YAG-Lasers, dessen Strahlung aufgrund der numerischen Apertur der Glasfaser mit einem bestimmten Divergenzwinkel austritt.

Der Anschluß 12 wird an einer Halterung 36 des U-Schenkels 4' mit Befestigungsschrauben 43 festgelegt, die in einem Flansch 19 des Anschlusses 12 angeordnet sind. Rechtwinklig zu diesem Flansch 19 ist der Anschluß 12 mit einem Kabelflansch 21 versehen und in Bezug auf die Flanschöffnungen 19', 21' ist ein Umlenkspiegel 20 in einem Winkel  $\alpha$  von etwa gleich  $45^\circ$  so angeordnet, daß die vom Lichtleitkabel 13 herrührende Laserstrahlung 9 durch die Flanschöffnung 21' zugeleitet und vom Umlenkspiegel 20 durch die Flanschöffnung 19' exakt in der Richtung der Schwenkachse 16 der Handachse 5 eingekoppelt werden kann. Der Umlenkspiegel 20 ist dabei in einer Spiegelhalterung 44 angebracht, welche justierbar ist. Zur Justierung sind Feingewindeschrauben 45 vorgesehen, welche die Halterung 44 über die ersichtlichen Zylinderfedern gegen den Anschluß 12 drücken. Mit diesen Feingewindeschrauben 45 können bauteile- und anordnungsbedingte Toleranzen so ausgeglichen werden, daß der Umlenkspiegel 20 für die Laserstrahlung 9 so genau wie erforderlich justiert werden kann.

Die in die Handachse 5 eingekoppelte Laserstrahlung 9 trifft auf einen umlenkenden Spiegel 17, der sie der Bearbeitungsoptik 15 zuleitet. Die Zuleitung muß hochexakt erfolgen, so daß es auf die genaue Positionierung des Umlenkspiegels 17 ankommt. Dieser ist hierfür als zylindrischer Körper ausgebildet, der in der Darstellungsebene einen dreieckigen Querschnitt hat. Das Querschnittsdreieck hat einen rechten Winkel und gleich lange Schenkel, welche die Katheten des rechtwinkligen Dreiecks bilden. Eine der Kathetenflächen 17' bzw. die teilzylindrische Außenumfangsfläche des Spiegelkörpers ist in einer hülsenartigen Halterung 46 z. B. durch Kleben befestigt. Die Halterung 46 wird mit Befestigungsschrauben 47 durch Befestigungsbohrungen 51 eines Hülsenflansches 52 am Achsenkörper 29 bzw. an dessen Lagerflansch 35 befestigt und kann genau orthogonal zur Längsachse 23' des Gehäuses 23 der Bearbeitungsoptik 15 angeordnet werden, so daß die Reflexionsfläche 17'' im gewünschten Winkel von  $45^\circ$  geneigt zur Schwenkachse 16 und zur Linsenmittelebene 24 der Bearbeitungsoptik 15 angeordnet ist.

Die Reflexionsfläche 17'' des umlenkenden Spiegels 17 ist ebenso mit einer nicht dargestellten Reflexionsbeschichtung versehen, wie die nicht bezeichnete Reflexionsfläche des Umlenkspiegels 20. Die Beschichtung ist beispielsweise für die Wellenlänge 1064 nm geeignet, d. h. für die Wellenlänge des vorzugsweise als Festkörperlaser verwendeten Nd:YAG-Lasers. Die Spiegel 17, 20 bestehen aus einem transparenten oder teiltransparenten Material, wie Quarzglas oder BK-7-Glas, so daß Strahlungen anderer Wellenlänge zumindest zum Teil nicht reflektiert werden, sondern die Spiegel durchdringen. Es ist infolgedessen möglich, integrierte Prozeßbeobachtungs- und Diagnostikeinrichtungen in die Roboterhand einzubauen, wie es oben näher beschrieben wurde. Im Falle des Einsatzes einer CCD-Kamera wird deren Gehäuse beispielsweise in einer Durchgriffsöffnung 48 für eine der Befestigungsschrauben 43 festgelegt, z. B. durch Einstecken und/oder Verschrauben am Anschluß 12.

Die Halterung 46 ist mit einer Durchtrittsbohrung 46'

versehen, durch welche von der Bearbeitungszone her-  
rührende Strahlung in eine Bohrung 49 eindringen kann,  
in der der oben erwähnte Sensor zur Erfassung prozeß-  
relevanter Signale angeordnet werden kann, beispiels-  
weise zur Erfassung von Plasmaleuchten oder Tempera-  
tur in der Bearbeitungszone. Ein solcher Sensor beein-  
flußt die Dynamik der Handachse 5 praktisch nicht und  
kann mit dünnen leitenden Verbindungen an eine Pro-  
zeßsteuerung oder -regelung für die Laserleistung ange-  
schlossen werden.

#### Patentansprüche

1. Roboterhand (10) für die 3-D-Bearbeitung von  
Werkstücken mit Laserstrahlung, insbesondere für  
Roboter (11) mit mindestens fünf Achsen (1 bis 5),  
mit einem Anschluß (12) für ein die Laserstrahlung  
(9) zuführendes Lichtleitkabel (13), mit einer robo-  
terseitigen Handachse (4), an der eine werkstück-  
seitige Handachse (5) schwenkbeweglich ange-  
bracht ist, welche eine die Laserstrahlung (9) auf  
das Werkstück fokussierende Bearbeitungsoptik  
(15) hat, dadurch gekennzeichnet, daß der An-  
schluß (12) für das Lichtleitkabel (13) an der robo-  
terseitigen Handachse (4) angebracht ist und die  
Laserstrahlung (9) koaxial mit der Schwenkachse  
(16) der werkstückseitigen Handachse (5) einkop-  
pelt, die einen die Laserstrahlung (9) aus der  
Schwenkachse (16) zur Bearbeitungsoptik (15) um-  
lenkenden Spiegel (17) aufweist.
2. Roboterhand nach Anspruch 1, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß die Schwenkachse (16) der werk-  
stückseitigen Handachse (5) vertikal zur Bewe-  
gungsachse (18) der roboterseitigen Handachse (4)  
angeordnet ist, und daß der Anschluß (12) für das  
Lichtleitkabel (13) einen im von 90° abweichenden  
Winkel ( $\alpha$ ) zur Schwenkachse (16) stehenden Um-  
lenkspiegel (20) hat.
3. Roboterhand nach Anspruch 2, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß der Anschluß (12) mit einem senk-  
recht zur Schwenkachse (16) der werkstückseitigen  
Handachse (5) angeordneten Befestigungsflansch  
(19) und mit einem dazu im rechten Winkel stehen-  
den Kabelflansch (21) versehen ist, und daß der  
Umlenkspiegel (20) unter einem Winkel ( $\alpha$ ) von et-  
wa 45° beiden Flanschöffnungen (19', 21') zuge-  
neigt ist.
4. Roboterhand nach Anspruch 2 oder 3, dadurch  
gekennzeichnet, daß die roboterseitige Handachse  
(4) werkstückseitig U-förmig ausgebildet ist, daß  
die werkstückseitige Handachse (5) zwischen den  
U-Schenkeln (4') schwenkbar gelagert ist, und daß  
der Anschluß (12) für das Lichtleitkabel (13) mit  
seinem Befestigungsflansch (19) außen an einem  
der U-Schenkel (4') befestigt ist.
5. Roboterhand nach einem oder mehreren der An-  
sprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die  
Bearbeitungsoptik (15) in einem zylindrischen Ge-  
häuse (23) angeordnet ist, dessen Längsachse (23')  
quer zur Schwenkachse (16) der werkstückseitigen  
Handachse (5) steht, und daß werkstückseitig eine  
zylindrische Abdeckkappe (25) mit seitlichem Gas-  
anschluß (26) und/oder mit einer Linsenschutz-  
scheibe (27) und/oder mit einer quer zur Laser-  
strahlung (9) justierbaren Düse (28) versehen ist.
6. Roboterhand nach einem oder mehreren der An-  
sprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der  
Umlenkspiegel (20) am Anschluß (12) justierbar be-

festigt ist.

7. Roboterhand nach einem oder mehreren der An-  
sprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der  
die Laserstrahlung (9) aus der Schwenkachse (16)  
der werkstückseitigen Handachse (5) umlenkende  
Spiegel (17) ein mit der Schwenkachse (16) koaxial-  
er zylindrischer Körper mit dem Mittelquerschnitt  
eines rechtwinkligen gleichschenkligen Dreiecks  
ist, dessen Spiegelfläche (17'') mit einer Spiegelhal-  
terung (22) unter 45° geneigt zur Schwenkachse  
(16) und zur Linsenmittelebene (24) der Bearbei-  
tungsoptik (15) angeordnet ist.

8. Roboterhand nach einem oder mehreren der An-  
sprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der  
umlenkende Spiegel (17) und/oder der Umlenk-  
spiegel (20) teiltransparent ist bzw. sind und die  
jeweilige Spiegelfläche eine Reflexionsbeschich-  
tung für die Wellenlänge der Laserstrahlung (9)  
aufweist bzw. aufweisen.

9. Roboterhand nach einem oder mehreren der An-  
sprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß am  
Anschluß (12) des Lichtleitkabels (13) eine durch  
den Umlenkspiegel (20) strahlungsbeobachtende  
CCD-Kamera oder deren bildaufnehmender Teil  
angebracht ist, an die bzw. an den eine Bahnsteue-  
rung für den Roboter (11) angeschlossen ist.

10. Roboterhand nach einem oder mehreren der  
Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß am  
Anschluß (12) des Lichtleitkabels (13) eine durch  
den Umlenkspiegel (20) pilotstrahlbeobachtende  
Sensoreinheit angebracht ist, die mit einer laserab-  
schaltenden Steuereinheit in Wirkverbindung steht.

11. Roboterhand nach einem oder mehreren der  
Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß in  
der werkstückseitigen Handachse (5), von der Bear-  
beitungsoptik (15) aus hinter dem umlenkenden  
Spiegel (17) ein Sensor zur Erfassung prozeßrele-  
vanter Signale der Bearbeitungszone angeordnet  
ist, der an eine Prozeßsteuerung oder -regelung für  
die Laserleistung angeschlossen ist.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -



